

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-174652  
 (43)Date of publication of application : 29.06.2001

(51)Int.CI. G02B 6/12

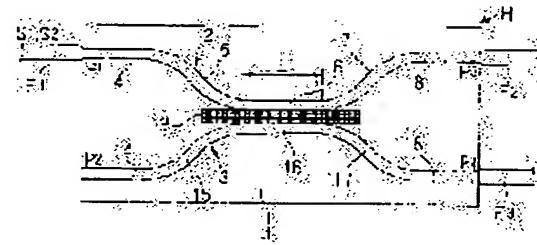
(21)Application number : 11-354701 (71)Applicant : SHOWA ELECTRIC WIRE & CABLE CO LTD  
 (22)Date of filing : 14.12.1999 (72)Inventor : SAKAKIBARA MASAKI NORO HARUTO

## (54) OPTICAL COUPLER/BRANCHING FILTER

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To completely perform the transfer of coupling/branching in an optical coupler/branching filter without receiving any restriction to wavelengths.

**SOLUTION:** Since a photonic crystal body 9 which inhibits the propagation of signal light S1 in the wavelength region corresponding to a short wavelength of coupling or branching signal light S1, S2 is provided between coupling parts 6, 16 of two optical waveguides 2, 3, the transfer of non-coupling or non-branching optical signal S1 to the other optical waveguide 3 is eliminated, the coupling parts 6, 16 are formed so as to maximize a coupling ratio transferring the coupling or branching signal light S2 to the other optical waveguide 3, and complete coupling or branching is performed. Also, since the effect of the photonic crystal body 9 is not reduced with lapse of time, the high coupling ratio is held in a constant, and complete coupling or branching is performed by one coupler.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-174652

(P2001-174652A)

(43)公開日 平成13年6月29日 (2001.6.29)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 6/12

識別記号

F I

テーマコード(参考)

G 0 2 B 6/12

F 2 H 0 4 7

Z

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 7 頁)

(21)出願番号

特願平11-354701

(22)出願日

平成11年12月14日 (1999.12.14)

(71)出願人 000002255

昭和電線電纜株式会社

神奈川県川崎市川崎区小田栄2丁目1番1号

(72)発明者 植原 正毅

神奈川県川崎市川崎区小田栄2丁目1番1号 昭和電線電纜株式会社内

(72)発明者 野呂 治人

神奈川県川崎市川崎区小田栄2丁目1番1号 昭和電線電纜株式会社内

(74)代理人 100077584

弁理士 守谷 一雄

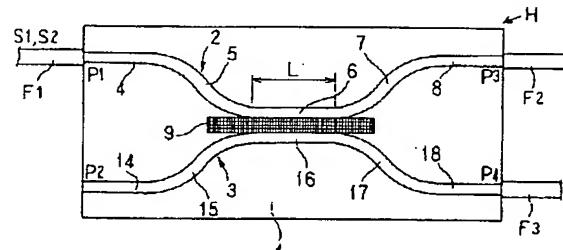
F ターム(参考) 2H047 KB04 KB10 LA18 QA01 QA04  
RA00 TA00

(54)【発明の名称】 光合分波器

(57)【要約】

【課題】光合分波器の合波、分波の移行を波長に制限を受けて完全に行う。

【解決手段】2つの光導波路2、3の結合部6、16間に合波または分波する信号光S1、S2のうち短い波長に相当する波長領域の信号光S1の伝播を禁止するフォトニック結晶体9を設けたため、合波または分波しない信号光S1が他方の光導波路3へ移行されるのを排除し、合波または分波すべき信号光S2の他方の光導波路3へ移行させる結合比を最大とするよう結合部6、16を形成でき、完全な合波または分波ができる。また、フォトニック結晶体9は経時に伴ってその効果が低下するものではないため、高い結合比を一定に保持することができ、一の結合器によって完全な合波または分波を行うことができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】2つの光導波路が、光を導入する直線状の入力部と、該入力部から相互に近接する方向に曲げられる曲線部と、該曲線部に接続され相互に平行に近接して設けられ伝播する光の分波または合波がなされる結合部と、該結合部から相互に離反する方向に曲げられる曲線部と、該曲線部から光を射出する直線状の出力部とを備えた光合分波器において、2つの前記光導波路の前記結合部間に一方の光導波路をそのまま伝播される光の波長光の伝播を抑制するフォトニック結晶体が介在されてなることを特徴とする光合分波器。

【請求項2】2つの光導波路が、光を導入する直線状の入力部と、該入力部から相互に近接する方向に曲げられる曲線部と、該曲線部に接続され相互に平行に近接して設けられ伝播する光の分波または合波がなされる結合部と、該結合部から相互に離反する方向に曲げられる曲線部と、該曲線部から光を射出する直線状の出力部とを備えた光合分波器において、それぞれの前記光導波路の前記結合部の下流に他方の前記光導波路を伝播する光の波長光の伝播を抑制するフォトニック結晶体を設けたことを特徴とする光合分波器。

【請求項3】2つの光導波路が、光を導入する直線状の入力部と、該入力部から相互に近接する方向に曲げられる曲線部と、該曲線部に接続され相互に平行に近接して設けられ伝播する光の分波または合波がなされる結合部と、該結合部から相互に離反する方向に曲げられる曲線部と、該曲線部から光を射出する直線状の出力部とを備えた光合分波器において、2つの前記光導波路の前記結合部間に一方の光導波路をそのまま伝播される光の波長光の伝播を抑制するフォトニック結晶体及びそれぞれの前記光導波路の前記結合部の下流に他方の前記光導波路を伝播する光の波長光の伝播を抑制するフォトニック結晶体を設けたことを特徴とする光合分波器。

【請求項4】前記フォトニック結晶体は前記結合部の長さより長いことを特徴とする請求項1または3記載の光合分波器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信や光センサ等において信号光を合波または分波するための光合分波器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、有線放送テレビジョンにおいては、電話信号と共に、画像信号、各種情報信号等を多重化して伝送する必要があることから、これらの伝送方式として周波数変調多重化伝送方式を採用することが考えられている。この場合、具体的には、電話信号を1.31μmの波長帯域で伝送し、画像信号、各種情報信号等を1.55μmの波長帯域で伝送することが考えられており、このような波長帯域の信号光を合波、分波するこ

とが不可欠なものとなる。

【0003】従来から、光集積回路において信号光を合波または分波する素子として光合分波器が知られており、マッハチェンダー光干渉型光合分波器は合波、分波可能な波長帯域が広範囲に亘るため、多用されている。

【0004】マッハチェンダー光干渉型光合分波器は、クラッドガラス層にコアとなる特定の形状の2つの光導波路が埋設されたものであり、2つの光導波路が平行に近接した部分、即ち結合部で光信号の合波または分波がなされるものである。この種のマッハチェンダー光干渉型光合分波器は、図11に示すように、クラッドガラス層21に埋設される2つの相互に対称に形成される光導波路22、32を備える。光導波路22は入射光ファイバーf1が接続される入力ポートp1から直線状に設けられる入力部23と、これに続く曲線部24、更に他の光導波路32に近接して平行に設けられる結合部25、光導波路32から離反して再度光導波路32に近接するよう設けられる過長部26、過長部26に続く結合部27、結合部27から離反するよう設けられる曲線部28、出射光ファイバーf2が接続される出力ポートp3に接続される直線状の出力部29を有するものである。一方、光導波路32は光導波路22の入力部23と対称の位置に直線部33、直線部33に続く曲線部34、光導波路22の結合部25に対応して設けられる結合部35、光導波路22の過長部26に対応して直線状に設けられ更に光導波路22の結合部27に対応して設けられる結合部36、光導波路22から離反するよう設けられる曲線部37、出射光ファイバーf3が接続される出力ポートp4に接続される直線状の出力部38を有するものである。光導波路22に過長部26を設け、光路長L1の光導波路32より△L長い光路長を有するものとし、△Lの長さにより合波、分波する光の波長が定められると共に、光導波路22、32間の合波または分波がなされる光量の割合、即ち結合比が定められる。このようなマッハチェンダー光干渉型光合分波器においては、入射光ファイバーf1から、波長λ1、例えば1.31μmと、波長λ2、例えば1.55μmを有する2つの信号光s1、s2が光導波路23の入力ポートp1から入力されると、結合部25において信号光s2の一部が光導波路32の結合部35へ移行し、更に、結合部27において信号光s2が光導波路32の結合部36へ移行し、光導波路22を伝送された信号光s1が出力ポートp3から出射光ファイバーf2へ出力され、光導波路32を伝送された信号光s2が出力ポートp4から出射光ファイバーf3へ出力されるようになっていく。出力ポートp3、p4から出力される信号光の出力損失と信号光の波長との関係は、図12に示されるものである。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このよ

うなマッハチェンダー光干渉型光合分波器においては、図12からも明らかなように、結合部を2段に設けても信号光s2を完全に光導波路22から光導波路32へ移行することはできなかった。また、結合部の結合比は波長と相関関係があり、合波または分波する信号光の波長を特定なものに設定するとその結合比は自ずから定まったものであり、合波または分波する信号光の波長を任意に選択して結合比を大きくすることは困難であった。このため、結合部に誘電体フィルタを設けたものもあったが、経時に伴い得られる効果が低下して満足のいく合波、分波がなされなかった。

【0006】本発明は上記欠点を解消するためになされたものであって、伝送する波長帯域が異なる信号光を、波長帯域を限定せず、完全に合波、分波可能とする光合分波器を提供することを目的とする。

【0007】

【発明を解決するための手段】本願発明の光合分波器は、2つの光導波路が、光を導入する直線状の入力部と、該入力部から相互に近接する方向に曲げられる曲線部と、該曲線部に接続され相互に平行に近接して設けられ伝播する光の分波または合波がなされる結合部と、該結合部から相互に離反する方向に曲げられる曲線部と、該曲線部から光を出射する直線状の出力部とを備えた光合分波器において、2つの光導波路の結合部間に一方の光導波路をそのまま伝播される光の波長光の伝播を抑制するフォトニック結晶体が介在されてなるものである。また、本願発明の光合分波器は、2つの光導波路が、光を導入する直線状の入力部と、該入力部から相互に近接する方向に曲げられる曲線部と、該曲線部に接続され相互に平行に近接して設けられ伝播する光の分波または合波がなされる結合部と、該結合部から相互に離反する方向に曲げられる曲線部と、該曲線部から光を出射する直線状の出力部とを備えた光合分波器において、それぞれの光導波路の結合部の下流に他方の光導波路を伝播する光の波長光の伝播を抑制するフォトニック結晶体を設けたものである。更に、本願発明の光合分波器は、2つの光導波路が、光を導入する直線状の入力部と、該入力部から相互に近接する方向に曲げられる曲線部と、該曲線部に接続され相互に平行に近接して設けられ伝播する光の分波または合波がなされる結合部と、該結合部から相互に離反する方向に曲げられる曲線部と、該曲線部から光を出射する直線状の出力部とを備えた光合分波器において、2つの光導波路の結合部間に一方の光導波路をそのまま伝播される光の波長光の伝播を抑制するフォトニック結晶体及びそれぞれの光導波路の結合部の下流に他方の光導波路を伝播する光の波長光の伝播を抑制するフォトニック結晶体を設けたものである。これら本願発明の光合分波器は、好ましくは、フォトニック結晶体は、結合部の長さより長いものである。

【0008】本願発明の光合分波器は、2つの光導波路

の結合部間に入力された光導波路を合波または分波されずにそのまま伝播される信号光の波長領域の光の伝播を抑制するフォトニック結晶体を設けたため、合波または分波しない信号光が他方の光導波路へ移行されるのを抑制し、合波または分波すべき信号光の他方の光導波路へ移行させる結合比を最大とするように結合部を形成でき、完全な合波または分波を図ることができる。また、合波または分波が行われる結合部の下流に、他方の光導波路を伝播される信号光の波長に相当する波長領域の信号光の伝播を抑制するフォトニック結晶体を設けたため、他方の光導波路を伝播されるべき波長光が出力部から出力されるのを抑制することができ、合波または分波すべき信号光の他方の光導波路へ移行させる結合比を最大とするように結合部を形成でき、完全な合波または分波を図ることができる。

【0009】

【発明の実施の形態】以下、本発明の光合分波器の実施の一形態を、図面を参照して説明する。

【0010】図1に示すように、本発明の光合分波器Hは、基板(図示せず)上に積層されるクラッドガラス層1に埋設されるコアガラスからなる2つの光導波路2、3を備える。光導波路2は入射光ファイバーF1が接続される入力ポートP1から直線状に設けられる入力部4と、これに続く曲線部5、更に他方の光導波路3に近接して平行に設けられ長さLの結合部6、光導波路3から離反するように設けられる曲線部7、出射光ファイバーF2が接続される出力ポートP3に接続される直線状の出力部8を有するものである。一方、光導波路3は光導波路2と対称的な形状をし、入力部14、入力部14に続く曲線部15、光導波路2の結合部6に対応して設けられる結合部16、光導波路2から離反するように設けられる曲線部17、出射光ファイバーF3が接続される出力ポートP4に接続される直線状の出力部18を有するものである。このような光導波路2、3を構成する入力部4、14、曲線部5、7、15、17、出力部8、18はそれぞれ伝送する信号光の波長に対応した長さを有するものである。また、結合部6、16は後述するように、波長の制限を受けず、結合比を最大とする長さに設定可能である。

【0011】このような光合分波器には、2つの光導波路2、3の結合部6及び16問にはフォトニック結晶体9が設けられる。フォトニック結晶体9は、結合部6、16に接続される部分の曲線部5、7、15、17においても合波、分波が行われるため、曲線部5、7、15、17に対向する部分にも延長して設けられるのが好ましい。

【0012】フォトニック結晶体9は、図2に示すように、一定の周波数領域の光の伝播を抑制するフォトニック・バンドギャップを有するものであり、伝送する一方の波長領域に相当するフォトニック・バンドギャップを

有するものである。即ち、波長 $\lambda_2$ を有する光は透過させ、波長 $\lambda_1$ を有する光に対してのみ伝播を抑制するものである。尚、フォトニック・バンドギャップは、伝送する信号光の波長が $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の場合、 $\lambda_1 < \lambda_2$ なる関係を有する $\lambda_1$ に相当するものである。フォトニック結晶体9は、誘電率を波長単位で周期的に大きく変化させた構造体を有するため、電磁波が固有のモードを持たない周波数領域が形成され、一定の周波数領域の光に対して伝播を抑制できるものである。このようなフォトニック結晶体9として、図3、図4に示すように、誘電率 $\epsilon_a$ の複数の円形ロッドR1または正方形ロッドR2と、これらロッドの周囲に設けられ誘電率 $\epsilon_a$ と大きく異なる誘電率 $\epsilon_b$ を有する周囲誘電体S1、S2で構成される2次元の周期面に対して垂直方向（以下、Z軸方向と称す）に一様な構造のものがある。

【0013】特に、Z軸方向に磁場成分を持たない偏光、所謂TMモードの光と、Z軸方向に電場成分を持たない偏光、所謂TEモード光に対して共通の幅広い周波数領域でフォトニック・バンドギャップを有するフォトニック結晶体9としては、誘電率 $\epsilon_a$ を有する長方形ロッドまたは楕円形ロッドと、これらロッドの周囲に設けられ誘電率 $\epsilon_a$ と大きく異なる誘電率 $\epsilon_b$ を有する周囲誘電体で構成される2次元の周期面に対しZ軸方向に一様な構造のものが好ましい。

【0014】このような長方形ロッドは、図5に示すように、隣接する4つの長方形ロッドR3と相互に90度回転されて配置される。また、長方形ロッドR3の長辺、短辺は光波長と近似した長さを有し、長辺と短辺との長さは所定の割合、長辺に対する短辺の比が0.5を中心とした割合であることが好ましく、長方形ロッドR3は正方形ロッドR2とほぼ同一の断面積を有する。

【0015】このような長方形ロッドR3の周囲に設けられる周囲誘電体S3は、長方形ロッド2の長辺が短辺より長い部分によって形成される誘電体スポットS31と、短辺と長辺によって挟まれた狭い部分の誘電体ペインS32が交互に連続的につながったハイブリッド構造を有する形状となっている。

【0016】また、楕円形ロッドは、図6に示すように、隣接する4つの楕円形ロッドR4と相互に90度回転されて配置される。また、楕円形ロッドR4の長軸、短軸は光波長と近似した長さを有し、長軸と短軸との長さは所定の割合、長軸に対する短軸の比が0.5を中心とした割合であることが好ましく、楕円形ロッドR4は円形ロッドR1とほぼ同一の断面積を有する。

【0017】このような楕円形ロッドR4の周囲に設けられる周囲誘電体S4は、楕円形ロッドR4の長軸が短軸より長い部分によって形成される誘電体スポットS41と、楕円の頂部と復部によって挟まれた狭い部分の誘電体ペインS42が交互に連続的につながったハイブリッド構造を有する形状となっている。

【0018】このようなフォトニック結晶体9を介在させた光合分波器においては、入射光ファイバーF1から、波長 $\lambda_1$ 、例えば、1.31μm、と波長 $\lambda_2$ 、例えば、1.55μmを有する2つ信号光S1、S2が光導波路2の入力ポートP1から入力されると、曲線部5を通過して結合部6において信号光S1は結合部6の結合比が如何なる場合であっても、フォトニック結晶体9によって光導波路2から光導波路3への移行が遮断され、光導波路2を伝送され、出力ポートP3を介して出射光ファイバーF2から出力される。一方、信号光S2は光導波路2からフォトニック結晶体9を透過して光導波路3の結合部16へ全光量が移行し、光導波路3を伝送され出力ポートP4から出射光ファイバーF3へ出力されるようになっている。このため、結合部Lの長さは、分波する信号光の波長の制限受けず、結合比を最大とする長さに設定することができる。出力ポートP3、P4から出力される信号光の出力損失と波長との関係は、図7に示されるものである。図からも明らかなように、ポートP3、P4から出力される信号光の出力損失特性は、フォトニック結晶体9のフォトニック・バンドギャップの周波数特性と、結合部6、16の周波数特性が合成されたものであり、出力ポートP3、P4においてそれぞれ30dB程度の出力損失が得られることが示され、結合比が高くなっていることが明確である。

【0019】尚、フォトニック結晶体は経時に伴ってその効果が低下するものではないため、高い結合比を一定に保持することができる。

【0020】このような光合分波器を製造するには以下の方法による。

【0021】まず、フォトニック結晶体9を製造するには、半導体成膜方法を用いることができる。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Si、SiO<sub>2</sub>等の基板にCr等のマスクをして長方形、楕円形等のパターンを転写し、エッチングにより基板にエアーパターンを形成することにより製造することができる。また、長方形ロッド等も空乏（エアー）とせず所望の材質とすることもできる。このようなハイブリッド構造を有するフォトニック結晶構造においては、TE偏光に対するフォトニック・バンドギャップと、TM偏光に対するフォトニック・バンドギャップを共通する周波数領域において有するものである。長方形ロッドまたは楕円ロッドと周囲誘電体との誘電率比や充填率などの条件により、TE偏光とTM偏光に共通する周波数領域で完全なバンドギャップを生成することができる。

【0022】長方形ロッド2の短辺と長辺との比を0.5とし、長方形ロッド2の誘電率 $\epsilon_a = 1.0$ 、周囲誘電体の誘電率 $\epsilon_b = 8.9$ 、充填率を30%、格子定数aとしたフォトニック結晶構造のTE偏光とTM偏光に対する光波の状態密度は、図8に示すものとなった。図8から明らかなように、規格化周波数0.32～0.34付近に光波の状態密度がゼロ、即ち両モードに共通

のフォトニック・バンドギャップが生成されていることがわかる。

【0023】このように製造されたフォトニック結晶体を用いて光合分波器を製造するには、シリコン等の基板上に火炎堆積法等によって多孔質のクラッドガラス層、コアガラス層を順次積層し、HeとO<sub>2</sub>、雰囲気中で熱処理し、その後イオンエッティング加工によりコアガラス層を2つの光導波路形状に形成する。更に、2つの光導波路の結合部間に前述のように製造したフォトニック結晶体を載置させ、クラッドガラス層を積層することができる。クラッドガラスとしては、SiO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、コアガラスとしては、SiO<sub>2</sub>-GeO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を使用することができる。

【0024】本願発明の他の実施態様の光合分波器は、図9に示すように、光導波路2、3の結合部6、16間に、フォトニック結晶体9を設けず、結合部6、16の下流の出力ポートP3、P4の近傍の直線部8、18にフォトニック結晶体10、11を設けたものである。尚、図9に示す符号は図1に示す光合分波器のものと同様のものを示している。フォトニック結晶体10は、光導波路3へ移行される信号光の波長λ2の波長帯域に相当するフォトニック・バンドギャップを有し、フォトニック結晶体11は、光導波路2を伝送される信号光の波長λ1の波長帯域に相当するフォトニック・バンドギャップを有するものである。また、他の実施態様の光合分波器は、図10に示すように、光導波路2、3の結合部6、16間にフォトニック結晶体9を設け、更に、光導波路2、3結合部6、16の下流の出力ポートP3、P4の近傍の直線部8、18にフォトニック結晶体10、11を設けたものである。尚、図10に示される符号は図9に示す光合分波器のものと同様のものを示している。フォトニック結晶体10は、光導波路3へ移行される信号光の波長λ2の波長帯域に相当するフォトニック・バンドギャップを有し、フォトニック結晶体11は、光導波路2を伝送される信号光の波長λ1の波長帯域に相当するフォトニック・バンドギャップを有するものである。

【0025】このようにフォトニック結晶体10、11をそれぞれ直線部8、18に設けたため、出力ポートP3、P4から出力されるそれぞれの信号光の出力損失は50dBとすることができる。

【0026】本発明は上記実施例においては、分波について説明したが、それぞれの出射光ファイバーから逆に光を入力すれば、結合部において一方の信号光が他方の光導波路への移行を抑制することができ、結合比を最大とできるため、完全に合波され、一の入射光ファイバーから合波された信号光が出力される。

【0027】また、本願発明は上記実施例に限定されず、波長領域もこれに限定されるものではなく、また、

製造方法もこれに限定されるものではない。

【0028】

【発明の効果】上記説明からも明らかのように、本願発明の光合分波器によれば、2つの光導波路の結合部間に合波または分波する信号光のうち短い波長に相当する波長領域の信号光の伝播を抑制するフォトニック結晶体を設けたため、合波または分波されるべきでない信号光が他方の光導波路へ移行されるのを抑制し、合波または分波すべき信号光の他方の光導波路へ移行させる結合比を最大とするように結合部を形成でき、完全な合波または分波を図ることができる。また、結合部の下流にそれぞれの光導波路を伝播されるべきでない波長光の伝播を抑制するフォトニック結晶体を設けたため、合波または分波されるべきでない信号光が他方の光導波路へ移行されるのを抑制し、それぞれの光導波路を伝播されるべき波長光のみ出力部から出力できるため、合波または分波すべき信号光の他方の光導波路へ移行させる結合比を最大とするように結合部を形成でき、完全な合波または分波を図ることができる。加えて、フォトニック結晶体は経時に伴ってその効果が低下するものではないため、高い結合比を一定に保持することができ、一の結合器によって完全な合波または分波を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光合分波器の一実施例を示す構成図。  
【図2】本発明の光合分波器の一実施例の作用を示す説明図。

【図3】本発明の光合分波器の一実施例の要部を示す構成図。

【図4】本発明の光合分波器の一実施例の要部を示す構成図。

【図5】本発明の光合分波器の一実施例の要部を示す構成図。

【図6】本発明の光合分波器の一実施例の要部を示す構成図。

【図7】本発明の光合分波器の一実施例の効果を示す説明図。

【図8】本発明の光合分波器の一実施例の効果を示す説明図。

【図9】他の実施例を示す構成図。

【図10】他の実施例を示す構成図。

【図11】従来例を示す構成図。

【図12】従来例の効果を示す説明図。

【符号の説明】

2、3……光導波路

4、14……入力部

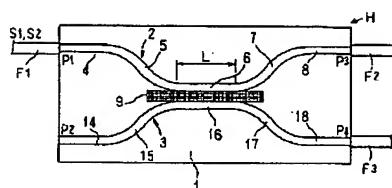
5、7、15、17……曲線部

6、16……結合部

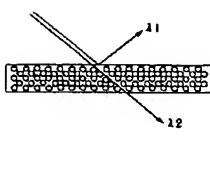
8、18……出力部

9、10、11……フォトニック結晶体

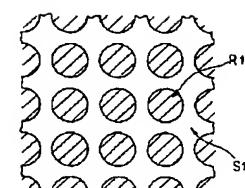
【図1】



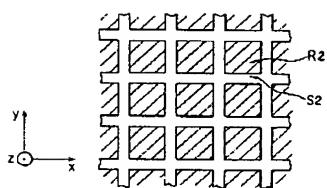
【図2】



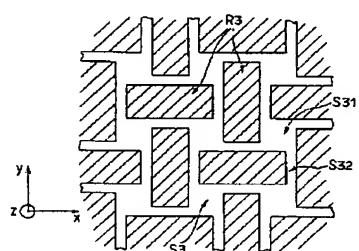
【図3】



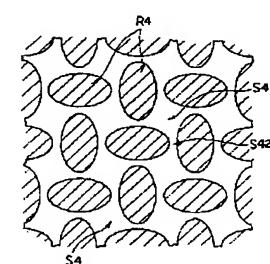
【図4】



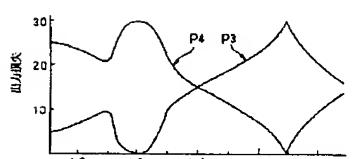
【図5】



【図6】

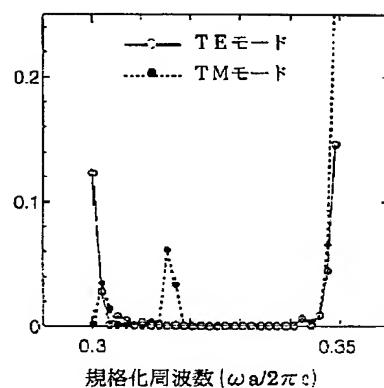


【図7】

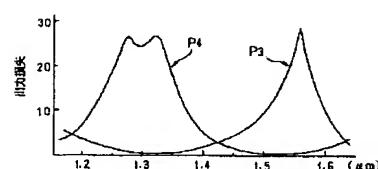


光強度(任意単位)

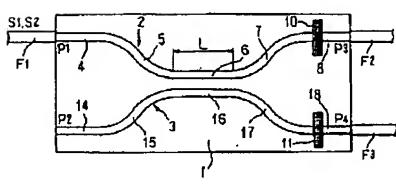
【図8】



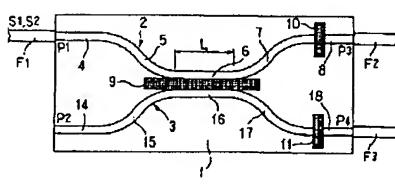
【図12】



【図9】



【図10】



【図11】

